

Vergleichende Untersuchung des Bennett- winkels im Dentatus-Artikulator und im Röntgenbild

von
Dieter Demuth
aus
Neuendettelsau

1972



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Abteilung für funktionelle Gebißanalyse
Vorstand: Professor Dr. Dr. O. Bock
der Klinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Universität Erlangen-Nürnberg
(Direktor: Prof. Dr. Dr. G. Steinhardt)

Vergleichende Untersuchung des Bennett- winkels im Dentatus-Artikulator und im Röntgenbild

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt

von

Dieter Demuth

aus

Neuendettelsau

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät der
Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Prof. Dr. Dr. H. Pauly
Referent: Prof. Dr. Dr. O. Bock
Koreferent: Prof. Dr. Dr. G. Steinhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 26. 9. 1972

- A. Einleitung
- B. Literaturhinweise über bisherige Untersuchungen
 - a. Anatomie des Kiefergelenkes
 - b. Physiologie des Kiefergelenkes
 - Ruheposition des Condylus
 - Kaumuskeln und Discus articularis
 - Mechanik des Kiefergelenkes
 - c. Methoden zur Untersuchung des Kiefergelenkes
 - Graphische Registrierungen
 - Modelle und orale Bißregistrierung
 - Röntgenbilder
- C. Eigene Untersuchungen
 - I. Fragestellung
 - II. Methodik
 - 1. Untersuchungsgut
 - 2. Ablauf der Untersuchungen
 - a. Ermittlung der Kiefergelenkdaten im Artikulator
 - b. Röntgenaufnahmen bei verschiedenen Unterkieferpositionen
 - Technik der Röntgenaufnahmen
 - Röntgenapparat und Durchführung der Aufnahmen
 - 3. Auswertung
 - a. Bezugspunkte und Meßpunkte
 - b. Durchführung der Messungen
 - c. Umrechnung der Werte
 - 4. Kritik der Methodik
 - III. Ergebnisse
 - 1. Methode nach LAURITZEN
 - 2. Röntgenaufnahmen
 - 3. Signifikanzberechnung
- D. Diskussion
 - a. Genauigkeit der Artikulatorwerte
 - b. Genauigkeit der Röntgenwerte
 - c. Vergleich der beiden Meßmethoden
- E. Zusammenfassung
- Literaturverzeichnis

A. EINLEITUNG

Seit den Untersuchungen von H. MEYER (1865), BALKWILL (1866) und GYSI (1908) ist der Bewegungsablauf der Kiefergelenkköpfechen bei Artikulationsbewegungen des Unterkiefers genauer bekannt. Das exakte Wissen um die Anatomie und die Funktion des Kiefergelenkes ist nicht nur bei der Herstellung von Zahnersatz von größter Bedeutung, sondern auch bei der Therapie von artikulären Störungen.

Inzwischen haben zahlreiche Autoren, GYSI (1908), SHORE (1959), LAURITZEN (1964), in wissenschaftlichen Arbeiten, teilweise mit Hilfe von komplizierten Apparaturen, die anatomisch variablen Größen des Kiefergelenkes und den Bewegungsablauf des Unterkiefers beim Kauakt gemessen und aufgezeichnet. Die hier eingehender zu betrachtende Arbeit von LAURITZEN ermöglicht mit Hilfe von Wachsbissen unter anderem die individuelle Registrierung des Bennettwinkels in einem individuellen Artikulator.

Die Aufgabe der vorliegenden Arbeit soll sein, durch Röntgenaufnahmen des Kiefergelenkes den individuellen Bennettwinkel zu bestimmen und mit den nach der LAURITZEN-Methode gewonnenen Werten zu vergleichen.

B. GRUNDLAGEN AUS DER LITERATUR

a. Anatomie des Kiefergelenkes

Die Anatomie des Kiefergelenkes wird in vielen älteren Werken bis ins Detail beschrieben - FICK (1911), RAUBER-KOPSCH (1920) - während funktionelle Gesichtspunkte bei den neueren Autoren in den Vordergrund rücken, SCHWARTZ (1926), GROHS (1934), STEINHARDT (1934-1958).

Hier sei jedoch ein kurzer Überblick über die Anatomie des Kiefergelenkes gegeben.

Das Kiefergelenk verbindet die Mandibula mit dem Rest des Schädels (Cranium). Die knöchernen Anteile des Gelenkes werden gebildet aus dem Os temporale und dem Caput mandibulae. Eine knorpelige Scheibe (discus articularis) teilt das Kiefergelenk in einen oberen und unteren Abschnitt. Discus und Gelenkköpfchen sind von der Gelenkkapsel umgeben und nach lateral mit dem Ligamentum laterale am Processus zygomaticus des Os temporale befestigt. Außerdem ziehen zwei weitere Ligamente (lig. sphenomandibulare und stylomandibulare) direkt von der Schädelbasis zur Mandibula, ebenso wie der Musculus pterygoideus lateralis, von dem einige Fasern direkt an der Gelenkkapsel inserieren.

Die Gelenkköpfe haben eine ellipsoide Form und besitzen in der anterior-posterioren Richtung eine Abmessung von 8-10 mm, in der medial-lateralen Richtung von 15-20 mm, TÖRÖK (1899), LINDBLOM (1960). Sie sind nach vorn innen abgedreht, so daß sich ihre verlängerten Achsen am Vorderrand des Foramen magnum in einem stumpfen Winkel von 110-170 Grad treffen (BOSSE, MARTIN, AMER).

Die Artikulationsfläche ist in transversaler Richtung leicht, in sagittaler Richtung stark konvex gewölbt, kann aber beträchtlich variieren. Bei jungen Menschen sind die Condylen stärker gerundet, bei älteren Menschen sind sie mehr abgeflacht, MARTIN (1914). FICK (1911) behauptet, daß die transversale Wölbung einen Kreisbogen von 90 Grad mit einem Radius von wenig mehr als ein Zentimeter darstellt, andere Autoren beschreiben sie aber mehr als dachförmig, SCHRÖDER (1934), BIEHL (1954). Nach STEINHARDT (1934) ist die artikulierende Fläche des Condylus mit fibrösem Knorpel bedeckt.

Die Gelenkgruben an der Schädelbasis (Fossa mandibularis) sind entsprechend den Gelenkköpfen ebenfalls nach vorn innen abgedreht. Ihre Wölbung ist in der sagittalen Richtung stärker ausgeprägt als in der transversalen. Nach ventral werden die Gelenkgruben begrenzt durch die konvexe Oberfläche des Tuberculum articulare, das nach SICHER (1952) in der anterior-posterioren Richtung einen Radius von 5-15 mm aufweist. Die Höhe des Tuberculum articulare ist nach BAUER (1932) teilweise abhängig von dem individuellen Biß-Typus. Es ist breiter und flacher bei Menschen mit Kopfbiß und mit geringem incisalen Überbiß, FABIAN (1925). Die gesamte artikulierende Fläche ist ebenfalls mit einer fibrocartilaginösen Schicht bedeckt.

Der Discus ist eine dünne leicht s-förmig gekrümmte Scheibe aus Faserknorpel, die den Raum zwischen den inkongruenten Gelenkflächen ausfüllt. In der Mitte ist die Scheibe am dünnsten und verdickt sich vor allem zum anterioren und posterioren Rand hin. Die Dicke des Discus variiert nach STEINHARDT entsprechend der Höhe des Tuberculum articulare.

b. Mechanik des Kiefergelenkes

In der physiologischen Ruhelage hängt die Mandibula, ohne Kontakt der Zahnreihen, zwischen den sich im Gleichgewicht befindenden Kaumuskeln. Der vertikale Abstand zwischen den unteren und oberen Zähnen wird "freeway-space" genannt. Seine Größe variiert zwischen 2 und 7 mm, NISWONGER (1934), THOMPSON (1946). Viele Autoren nehmen an, daß die Ruhelage vom 3. Lebensjahr bis zum Tode unverändert bleibt, entsprechend dem konstanten Ruhetonus der Muskeln, THOMPSON (1946).

Bei der Mundöffnung führt der Condylus eine kombinierte Dreh-Gleitbewegung aus. Der Discus wandert hierbei den hinteren Abhang des Tuberculum articulare abwärts, bis er bei maximaler Öffnung zusammen mit dem Condylus auf dem höchsten Punkt des Tuberculum steht.

Die Kaumuskeln, die die Öffnungs-, Schließ- und Seitbewegungen des Unterkiefers ausführen, bestehen aus dem M. temporalis, dem M. masseter, dem M. pterygoideus medialis, der die Mandibula hebt und dem M. pterygoideus lateralis, der die Protrusions- und Lateralbewegungen bewirkt. Weitere Muskeln, die die Bewegungen der Mandibula beeinflussen, sind die suprahyoidalen und infrahyoidalen Muskeln, der Sternocleidomastoideus und die Halsstrecker. Alle diese Muskeln wirken in feinem Zusammenspiel miteinander, sowohl bei der physiologischen Ruhelage, als auch bei den normalen Kaubewegungen - CARLSÖÖ (1956), WÖLFEL (1957).

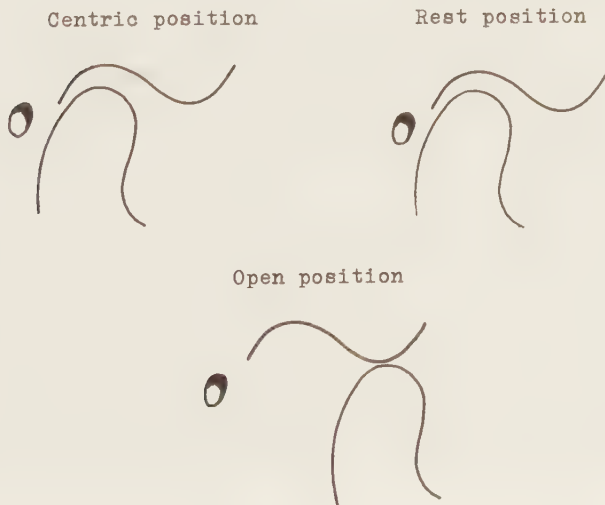
Neben dem neuromuskulären Zusammenspiel der Kaumuskeln, bestimmen noch andere Faktoren den Ablauf der Unterkieferbewegungen: Der Einfluß von Führungsflächen bei der Interkuspidation von Oberkiefer- und Unterkieferzähnen, die hemmende Wirkung von Bändern und der

Kapsel, die Form des Discus und besonders der Führungseffekt des hinteren Abhanges des Tuberculum articulare.

Wie schon vorher erwähnt, teilt der Discus das Gelenk in einen oberen und unteren Abschnitt. KJELLBERG (1901) war der Erste, der auf die ausgleichende Funktion des Discus zwischen der Inkongruenz von Condylus und Fossa hinwies. BAUER (1932) und KROGH-POULSEN (1957) betrachten den Discus als Stoßfänger. STEINHARDT (1934) und SICHER (1952) sehen in ihm mehr einen Höhenausgleich des individuell verschieden stark ausgebildeten Tuberculum, so daß die Höhenüberwindung des Condylus bei der Bewegung von der Okklusion zur Mundöffnung geringer wird.

Abb. 1

Stellung des Condylus bei verschiedenen Mandibulapositionen (nach G. LINDBLOM)



HJORTSYÖ (1953) beschreibt die Bewegung des Discus als Rotation um Mittelpunkte im Tuberculum articulare (Tuberculumrotation) und im Condylus (Kapitulumrotation). Jedoch zeigen REES (1954) und KROGH-POULSEN (1957), daß neben der Rotation im unteren Gelenkabschnitt auch geringfügige gleitende Bewegungen zwischen Condylus und Discus während der initialen Öffnungsphase auftreten können.

Die Zusammensetzung der oben erwähnten Kräfte und Bewegungen ergibt die Mechanik des Kiefergelenkes.

Die physiologischen Bewegungen im Kiefergelenk sind äußerst kompliziert. So können Öffnungs-, Schließ-, Vorschub-, Rückschub- und Seitbewegungen entweder isoliert oder, wie fast immer, miteinander kombiniert auftreten. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollen jedoch nur zwei typische Bewegungen beschrieben werden.

1. Öffnungsbewegung

Wenn die Öffnungsbewegung von der Okklusionsstellung ausgeht, wird durch Rotation des Condylus gegen den Discus die Position der physiologischen Ruhelage durchlaufen (LINDBLÖM). Der Mittelpunkt der mandibulären Rotation muß hierbei nicht unbedingt im anatomischen Zentrum des Condylus liegen, sondern ist meist in seiner unmittelbaren Nachbarschaft. Bei weiterer Öffnung wird die Rotation fortgesetzt, aber Condylus und Discus gleiten gleichzeitig auf der Gelenkbahn vorwärts und abwärts. Daraus folgt, daß der Mittelpunkt der mandibulären Rotation jetzt nicht innerhalb des Condylus liegen kann. Tatsächlich gleitet er ebenfalls ständig während der mandibulären Bewegungen, bis er am Ende der Öffnungsbewegung im Bereich des Foramen mandibulare liegt (BENNETT 1913,

FRANK 1956). Die Schließbewegung ist hauptsächlich eine Umkehrung der Öffnungsbewegung.

2. Lateralbewegung

Wie bei den Vor- und Rückschubbewegungen wird auch der Ablauf der Lateralbewegungen vom Führungseffekt der Gelenkbahn und der Zähne beeinflusst, es handelt sich also um eine Artikulationsbewegung. Durch den einseitigen Zug des Musculus pterygoideus lateralis wandert der Condylus aus der Fossa nach vorn unten und innen (MEYER 1865) auf das Tuberculum articulare, während das andere Gelenkköpfchen in der Gelenkpfanne verharret und dort eine Rotation um eine nahezu vertikale Drehachse ausführt. Der Winkel, der hierbei zwischen der Bahn des bewegten Condylus bei der Vor- und Einwärtsbewegung und der Sagittalen entsteht ist der Bennettwinkel. Er gibt den Grad der Seitabweichung des Condylus von der Sagittalen an. Da sich der Unterkiefer auf der Seite des schwingenden Condylus senkt, muß gleichzeitig eine Drehung um eine sagittale Achse erfolgen, die durch den Mittelpunkt des relativ ruhenden Condylus verläuft.

MEYER (1865) berichtet als erster Forscher, daß sich am Anfang der seitlichen Kiefernverschiebung, noch vor der eigentlichen Seitwärtsbewegung um den 'ruhenden' Condylus, beide Gelenkköpfchen seitwärts verlagern.

BENNETT (1910) hat diese Erscheinung genauer untersucht, die heute unter der Bezeichnung 'BENNETT'SCHE Transversalbewegung' bekannt ist. Wir verstehen darunter die Totalverschiebung der Mandibula, deren Charakteristikum die Lateralbewegung des relativ ruhenden Condylus ist.

WALKER (1896) vertritt auf Grund seiner Versuchsergebnisse die Ansicht, daß der 'ruhende' Condylus bei

seiner Rotation etwas nach cranial und dorsal wandere. Nach der Meinung von FISCHER, ist jedoch eine physiologische Rückwärtsbewegung des Unterkiefers über die zentrale Okklusionsstellung hinaus nicht möglich.

c. Methoden zur Registrierung der Kiefergelenkbewegungen

Die anatomischen Studien am Kiefergelenk konnten an totem Material durchgeführt werden. Zum Studium des komplizierten Gelenkmechanismus sind jedoch Untersuchungen am lebenden Individuum erforderlich.

Die graphischen Registrierungen sind älter als die photographischen und röntgenologischen Untersuchungen. Sie wurden von WALKER, CAMPION und GYSI um die Jahrhundertwende durchgeführt. GYSI (1908) ließ mit Hilfe eines Gesichtsbogens und eines Schreibstiftes, auf einer zur Gelenkbahn parallelen Schreibfläche, die Einwärtsbewegung eines Punktes auf der verlängerten Interkondylarachse zeichnen. Er erhielt hierfür einen Winkel von durchschnittlich 15 Grad. Auch führte er den 'Gotischen Bogen' ein, der später in abgewandelter Form von POSSELT (1952) und MAROLT (1957) verwendet wurde.

Bei allen oben genannten Methoden ist es jedoch unmöglich, während der Registrierung einen gewissen Druck auf das Kiefergelenk zu vermeiden. Neuere Autoren haben deshalb versucht, mit Hilfe eines zentralen Stützstiftes diese Fehlermöglichkeit zu eliminieren; STANSBERRY (1929), SEARS (1940).

Parallel dazu sind zahlreiche Methoden entwickelt worden, um mit Hilfe von Modellen und Bißregistrierungen die zentrische, protrudierte und laterale Relation der Kiefer zueinander zu ermitteln. Seit CHRISTENSEN (1901) einen Weg fand, um mit intraoralen Wachsbissen den Neigungswinkel der Condylen-

bahn zu messen, haben zahlreiche Autoren diesen Grundgedanken aufgegriffen und in mehr oder weniger abgeänderter Form übernommen; GYSI (1908), HANAU (1926), STANSBERRY (1929), NISWONGER (1934), BOOS (1940), SHORE (1959) und LUCIA (1964).

Röntgenbilder

Wenn man die mandibulären Bewegungen im Röntgenbild untersuchen will, kann man viele unterschiedliche Projektionen verwenden. Hierbei ist es jedoch notwendig, eine Reihe von Einzelbildern miteinander zu vergleichen oder die Bewegung durch Röntgenkine-matographie festzuhalten.

SICHER (1929) war der erste Autor, der die Technik der Überlagerung bei lateralen Röntgenaufnahmen zum Vergleich der Condylusstellungen angegeben hat, als er die condyläre Führung an einer zahnlosen Versuchsperson untersuchte. Das Prinzip dieser Technik wird heute noch in der modernen Cephalometrie angewandt.

In der Literatur finden wir zahlreiche Angaben über laterale Röntgenaufnahmen des Kiefergelenkes: PARMA, SCHÜLLER, CIESZYNSKI, LINDBLOM, STEINHARDT, GILLIS, RIESNER, DONOVAN, HANKEY, CHAYES usw.. Hinweise über differenzierte axiale Röntgenaufnahmen zur Untersuchung von Condylus und Fossa fehlen dagegen fast vollständig. Aus diesem Grund soll hier zunächst das Prinzip der axialen Kiefergelenkaufnahmen kurz beschrieben werden.

Die axialen Röntgenaufnahmen wurden 1905 erstmalig von SCHÜLLER zur Untersuchung der knöchernen Schädelbasis angegeben. Da auf ihnen sowohl die ossalen Wälle der Fossa als auch Form und Größe der Condylen gut dargestellt sind, eignen sie sich

auch ausgezeichnet zur Betrachtung der Kiefergelenke in der Horizontalen. Der Zentralstrahl verläuft hierbei zur Deutschen Horizontalebene senkrecht, entweder in submento-vertikaler oder in vertico-submentaler Richtung.

Bei der submento-vertikalen Aufnahme sitzt der Patient am Röntgengerät mit dem Hinterhaupt zur vertikal stehenden Kassette, die dem Scheitel leicht anliegt. Der Kopf wird durch die Pelotten der Kopfstütze gehalten und soweit nach hinten gebeugt, bis die Deutsche Horizontalebene senkrecht und parallel zur Filmebene verläuft. Der Zentralstrahl läuft dann in der Median-Sagittalebene in der Mitte der Verbindungslinien zwischen äußerem Gehörgang und äußerem Orbitarand.

Bei vertico-submentalem Strahlengang sitzt oder liegt der Patient vor dem Aufnahmetisch mit vorge-streckten Armen, während unter das sich in maximaler Streckstellung befindende Kinn, die Kassette so weit als möglich nach dorsal geschoben wird. Der Verlauf des Zentralstrahles ist wie oben, jedoch in entgegengesetzter Richtung. Der Vorteil der vertico-submentalen Aufnahme ist, daß der Unterkiefer in normaler Größe und scharf konturiert dargestellt wird, bei der submento-vertikalen hingegen vergrößert und nicht scharf begrenzt. Da bei den vorliegenden Untersuchungen die Röntgenaufnahmen meßtechnisch erfaßt und ausgewertet werden mußten, wurden die Röntgenaufnahmen in leicht abgewandelter Form zu oben, von cranial geschossen.

AMER verwendete für die Untersuchung der Condylenlängachsen in der Horizontalen die submento-vertikale Aufnahme. Als Röntgenapparat nahm er die zahnärztliche Röntgenkugel, mit der die Strahlenbelastung wegen der großen Expositionszeit von 6-7 sec

(65 kV, 15 mA) relativ hoch war.

Die nach HOFRATH modifizierte Kiefergelenkaufnahme verlangt während der Exposition die maximale Mundöffnung, so daß die Bewegungen der Condylen mit dieser Technik nicht erfaßt werden können.

C. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

In den Literaturhinweisen wurde die Anatomie, die Physiologie und die Methoden zur Untersuchung des Kiefergelenkes erörtert.

An Hand von Röntgenaufnahmen des Kiefergelenkes in vertico-submentalener Projektion, soll der BENNETT-Winkel ermittelt werden und ein Vergleich mit dem nach der LAURITZEN - Methode gefundenen Winkel angestellt werden.

I. Fragestellung

1. Kann mit Hilfe von Röntgenaufnahmen des Kiefergelenkes bei zentrischer Okklusion und geführter Lateralbewegung nach rechts und links der BENNETT-Winkel experimentell gemessen werden?
2. Wie verhalten sich die im Röntgenbild gefundenen Werte zu denen, die mit intra-oralen Wachsbissen nach LAURITZEN ermittelt wurden?

II. Methodik

1. Untersuchungsgut

Die Untersuchungen wurden an 10 Probanden (6 Männer, 4 Frauen) im Alter von 23-31 Jahren durchgeführt, die vollständige Zahnreihen und eine gute Artikulation, oder kleine Lücken, aber mit erhaltener vertikaler Dimension, und gute Artikulation besaßen. Der horizontale und vertikale Überbiß betrug mit einer Ausnahme (horizontaler Überbiß 8 mm, vertikaler 5 mm) 1-3 mm. Alle Probanden hatten im Verlauf der Untersuchung keine Kiefergelenksbeschwerden.

2. Ablauf der Untersuchungen

Die Untersuchungen wurden in zwei Hauptschritten durchgeführt:

- a. Die Ermittlung der Kiefergelenkdaten im Artikulator nach der von LAURITZEN angegebenen Methode.
- b. Die Herstellung der Röntgenaufnahmen bei verschiedenen Unterkieferpositionen und ihre anschließende Auswertung.

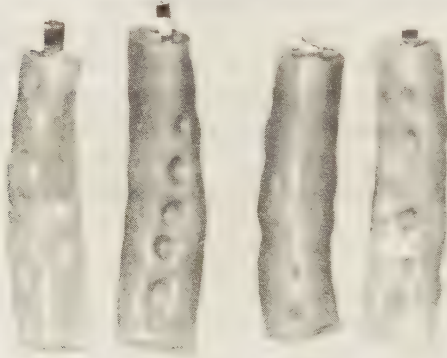
a. LAURITZEN - Technik

Für die Bestimmung der Seitabweichung des rechten und linken Condylus von der Sagittalen bei Lateralebewegungen des Unterkiefers wurde der Dentatus Artikulator, Modell ARL, verwendet.

Die Modelle der Versuchsperson werden einartikulierte, indem die Lage des Oberkiefermodells mit dem Gesichtsbogen und dem Orbitaltaster auf den Artikulator übertragen und das Unterkiefermodell dazu durch intraorale Wachsbisse orientiert wird.

Abb. 2

Wachsregistrare aus Beauty Pink Wax, links für Lateralbiß rechts, rechts für Lateralbiß links.



Die Festlegung der Unterkieferrotationsachse erfolgt mit dem Scharnierachsenbestimmungsgerät (Hinge Axis Locator) zuerst rechts, dann links. Das Gerät wird an einem an den Unterkieferzähnen mit Alginat befestigten Bißlöffel mit sagittalem Rundstab angeschraubt und die zunächst 8 mm vor dem Tragus eingestellte Nadel so lange verstellt, bis die Nadelspitze bei geringen passiven Öffnungs - und Schließbewegungen in der retrudierten Position nur noch eine reine Rotation ausführt. Da der Scharnierachsenpunkt später bei der Durchführung der Röntgenaufnahmen ebenfalls benötigt wird, muß der gefundene Hautpunkt eintätowiert werden. Hierzu muß der Proband aufrecht mit physiologischer Kopfhaltung und ohne sich anzulehnen sitzen.

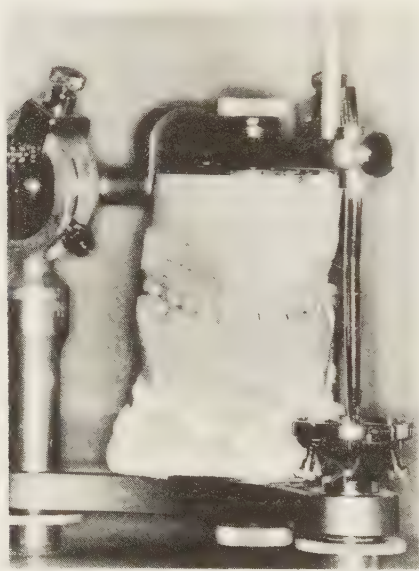
Die intraoralen Wachsbisse werden im Mund bei einer möglichst entspannten zentrischen Relation genommen: Hierbei wird der Unterkiefer durch Druck in die retrudierte Position gebracht und geringe passive Öffnungs- und Schließbewegungen ohne Zahnkontakt ausgeführt, bis man durch kurzes Anschlagen mit zwei etwa 3 mm dicken Wachsstreifen aus Moyko-Beauty-Pink-Wax, die auf die Unterkieferseitenzähne aufgedrückt wurden, gegen den Oberkiefer, die Höcker- spitzen der Oberkieferzähne markiert. Die zusammen- gefalteten Wachsstreifen, in die eine 0,07 mm dicke Zinnfolie eingelegt ist, müssen vor der Bißnahme im Wasserbad exakt auf 55 Grad Celsius erwärmt und die später gewonnenen Wachsregistrare sofort in kaltem Wasser abgekühlt werden.

Bei der Herstellung der Wachsregistrare für die Lateralbewegungen geht man in analoger Weise vor. Zunächst muß aber im Artikulator auf der Balanceseite eine Protrusion von 5 mm festgelegt werden, die man dann bei der Bißnahme im Mund in etwa nachahmt.

Nach dem die Arbeitsmodelle im Artikulator scharnierachsengerecht orientiert und fixiert sind, kann zunächst der Condylenbahnneigungswinkel und anschließend der Bennettwinkel für rechts und links mit Hilfe der Wachsregistrare, ausgehend von den Mittelwerten 40 bzw. 20 Grad, in der üblichen Weise bestimmt werden. Zur Ermittlung der Seitabweichung von der Sagittalen, wird der vertikale Kondylar- pfofen von der maximalen Innenstellung an soweit nach außen gedreht, bis die Kondylarkugel an der Schulter der Kondylarachse anstößt. Der Split - Cast darf hierbei nicht klaffen.

Abb. 3

Dentatus Artikulator ARL mit einartikulierten Modellen.



An der Gradeinteilung des Kondylarpfostens kann dann der Bennettwinkel abgelesen werden. Die Bestimmung wird mit zwei unabhängig voneinander gewonnenen Wachsregistraten durchgeführt.

b. Die Röntgenaufnahmen bei verschiedenen Unterkieferpositionen

Hier soll kurz die Technik, der verwendete Röntgenapparat und die Durchführung der Röntgenaufnahmen bei verschiedenen Condylenpositionen beschrieben werden.

Die Technik der Röntgenaufnahmen ist so zu wählen, daß drei Hauptforderungen erfüllt werden:

1. Die Condylen müssen sowohl bei der zentrischen Okklusion, als auch beim Lateralbiß rechts bzw. links gut sichtbar sein.
2. Ihre Konturen müssen besonders am äußeren und inneren Pol möglichst klar und ohne wesentliche Überlagerungen durch andere knöcherne Elemente gezeichnet sein.
3. Die einzelnen Röntgenaufnahmen sollen bei allen Condylenpositionen durch Fixation des Schädels am Röntgenapparat identisch sein.

Weiterhin ist es notwendig, daß der Zentralstrahl vertikal durch die Mitte der Condylenachse verläuft und senkrecht auf der Filmebene und Okklusionsebene steht (Okklusionsebene und Camper'sche Ebene sind nahezu parallel), die horizontal im Raume orientiert sein soll. Hierbei wird vorausgesetzt, daß die Interkondylarachse parallel zur Okklusionsebene verläuft, da bei geringer Inklination wegen der kurzen, vom Condylus zurückgelegten Wegstrecken, der dabei zu berücksichtigende Fehler im Rahmen des Gesamtfehlers der Meßmethode unbedeutend klein ist. Im übrigen wird eine Rotation des Schädels um eine sagittale, durch den Condylenmittelpunkt verlaufende Achse, ebenso wie die Condylenbahnneigung zur horizontalen Filmebene bei der Auswertung der Röntgenbilder berücksichtigt.

Ein Vorteil der obigen Projektion ist, daß die Röntgenstrahlen nur die dünne Knochenplatte des Os parietale beim Eintritt und das dünne Dach der Fossa beim Austritt durchdringen müssen und daher die Röntgendosis und die Expositions-

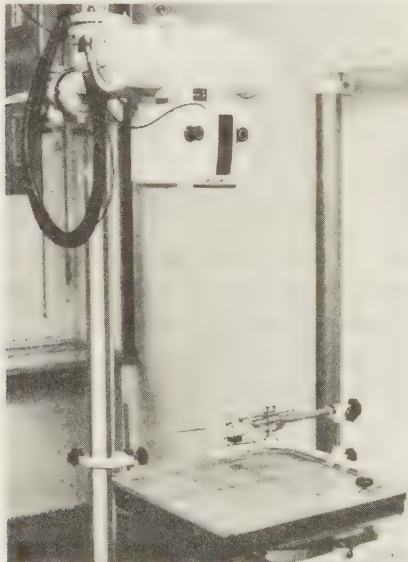
zeit relativ klein gehalten werden können.

Röntgenapparat und Durchführung der Aufnahmen

Als Röntgengerät wurde der Wandapparat für Lungenübersichtsaufnahmen von der Firma Siemens verwendet. Der Tisch mit dem Kassettenhalter wird horizontal geschwenkt und auf eine Höhe gebracht, bei der der Proband in knieender Position mit maximal vorgestrecktem Kinn, gut mit dem an der Oberkieferplatte angebrachten sagittalen Fixationsstab am Kopfhalter des Röntgentisches befestigt werden kann.

Abb. 4

Wandapparat der Firma Siemens



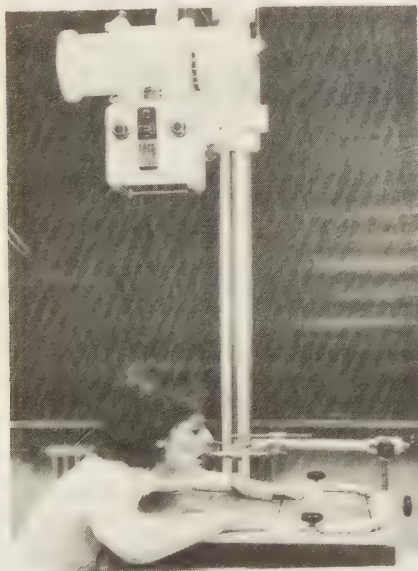
Die Arme liegen dabei leicht aufgestützt auf dem

Tisch. Der Fixationsstab wird so an der Oberkieferplatte fixiert, daß nach seinem Einschieben in eine Führungsbohrung am Kopfhalter, die Okklusionsebene horizontal verläuft.

Nachdem die Nadelspitzen des Übertragungsbogens auf die tätowierten Scharnierachsenpunkte in der Haut eingestellt sind, wird das Fadenkreuz der Röntgenröhre so ausgerichtet, daß der vertikale Zentralstrahl in der Sagittalebene und durch die Interkondylarachse verläuft.

Abb. 5

Position des Patienten bei den Röntgenaufnahmen



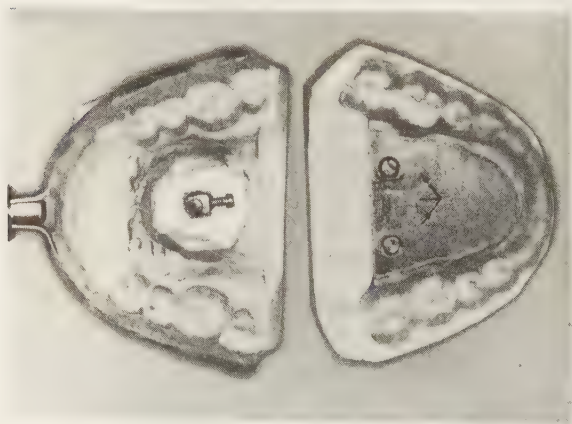
Eine 18 x 24 cm Kassette wird direkt auf den Röntgentisch gelegt, damit der Objekt - Filmabstand möglichst klein ist und scharfe Konturen auf dem

Röntgenbild entstehen, der Objekt - Focusabstand wird groß gewählt, um eine Vergrößerung weitgehend auszuschließen.

Die drei Unterkieferpositionen zentrische Okklusion, Lateralbiß rechts und Lateralbiß links werden vorher mit dem zentralen Schreibstift an der Oberkieferplatte auf einem Tisch aus 1 mm starkem Nirostablech an der Unterkieferplatte, nach Zeichnen des gotischen Bogens, festgelegt.

Abb. 6

Oberkiefermodell mit zentralem Stützstift und Unterkiefermodell mit Tisch und gotischen Bogen



An der Spitze und jeweils 5 mm lateral nach rechts und links werden auf dem gotischen Bogen feine Bohrungen angebracht, in die die Spitze des zentralen Schreibstiftes einrastet und somit die gewünschten Unterkieferpositionen auch während der Röntgenaufnahmen exakt fixiert. Die Oberkiefer- und Unterkieferschienen sind aus 1,5 mm starken tiefgezogenen

Kunststoffplatten und werden okklusal so beschliffen, daß bei einer Bißsperre mit dem Stützstift von 3 - 5 mm bei Lateralbewegungen keinerlei Antagonistenkontakt besteht.

Da die tiefgezogene Kunststoffplatte äußerst fest auf den Oberkieferzähnen sitzt, kann mit ihr der Kopf in einer bestimmten Position am Röntgentisch fixiert werden. Lageänderungen der Mandibula können so, ohne jegliche Änderung der Kopfhaltung, mühelos durchgeführt werden, so daß man identische Bilder bei verschiedenen Unterkieferpositionen erhält.

Nun werden die Röntgenaufnahmen geschossen, während die Spitze des Stützstiftes abwechselnd in die drei Bohrungen einrastet. Die 18 x 24 cm Kassette mit einer Verstärkerfolie 'Rubin fein' und dem Kodak - Film Regulix (mit beidseitiger Emulsion) wird mit einer Expositionszeit von 0,6 sec, bei 63 kV und 160 mA, belichtet. der Objekt - Filmabstand beträgt hierbei etwa 16 cm, während sich der Focus - Filmabstand entsprechend der Höhenverstellung des Röntgentisches zwischen den Werten 107 cm und 114 cm bewegt.

3. Auswertung

Die Messungen wurden entweder direkt an den Röntgenbildern durchgeführt, oder bei besonders kontrastreichen Aufnahmen an Positiven, die von den Röntgenbildern hergestellt wurden. Der letztere Weg wurde wenn möglich bevorzugt, da durch die Auswertung mit der Nadelstichmethode die Originalaufnahmen zerstört werden und diese für evtl. notwendige neue Messungen nicht mehr verwendet werden können.

Abb. 7 Röntgenbild der zentrischen Okklusion

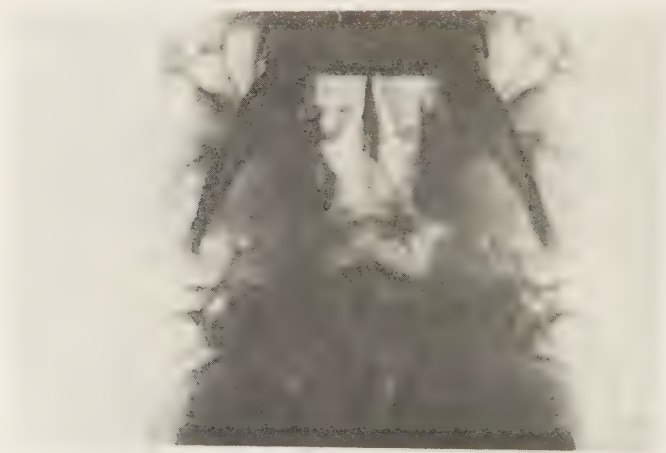


Abb. 8 Röntgenbild beim Lateralbiß rechts

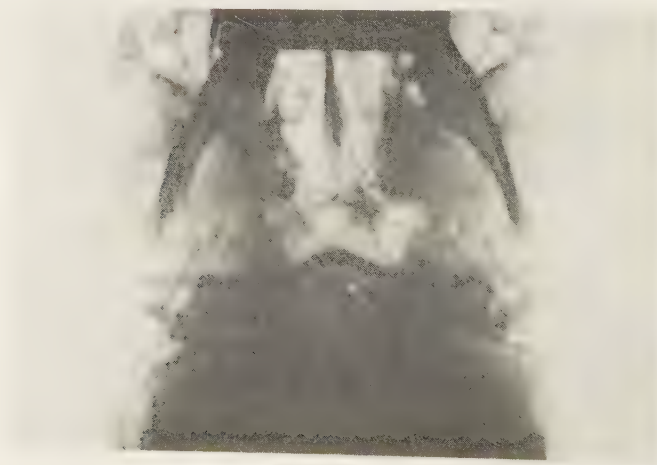
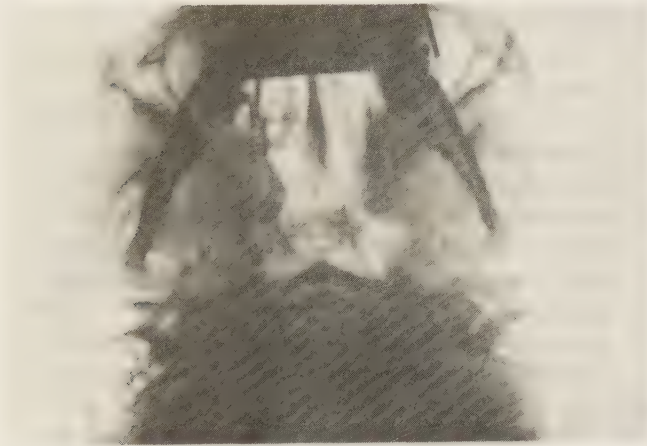


Abb. 9 Röntgenbild bei Lateralbiß links



a. Bezugspunkte und Meßpunkte

Auf jedem Bild finden wir mehrere Bezugspunkte, einmal die beiden Nadelspitzen des Übertragungsbogens, die die Hautpunkte der Scharnierachse wiedergeben und deren Verbindung die Condylenachse darstellt, und die Endpunkte des Labialbügels im Oberkiefer, die als Fixpunkte bei der Überlagerung der Röntgenaufnahmen mit unterschiedlicher Unterkieferposition dienen.

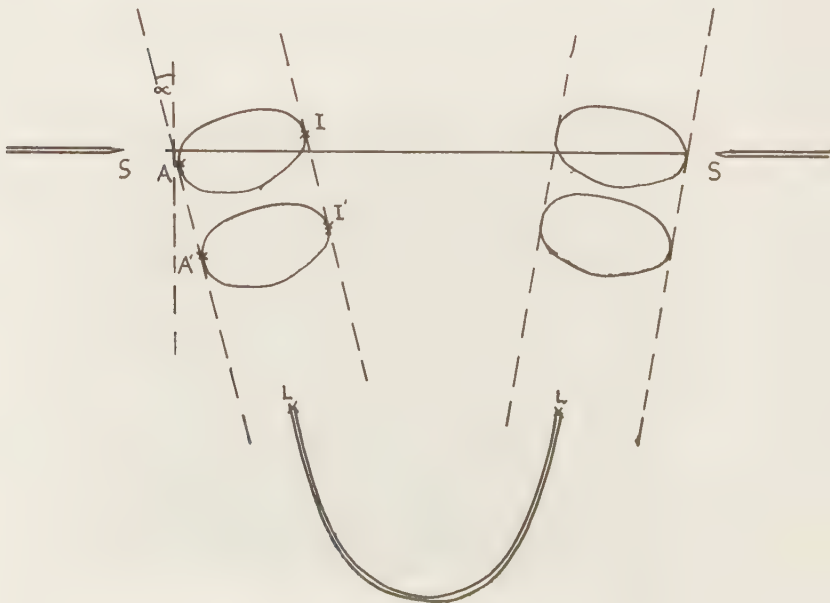
Die Meßpunkte auf dem Umriß des äußeren und inneren Condylenpoles wurden auf dem Bild der zentrischen Okklusion durch einen Nadelstich markiert und durch Überlagerung des Condylus auf die beiden anderen Aufnahmen übertragen.

Meßpunkte:

- A = am weitesten lateral gelegener Punkt auf dem äußeren Condyluspol
- A' = zu A identischer Punkt auf dem gewanderten Condylus
- I = am weitesten medial gelegener Punkt auf dem inneren Condyluspol
- I' = zu I identischer Punkt auf dem gewanderten Condylus
- S = Nadelspitze des Übertragungsbogens eingestellt auf den Hauptpunkt (Scharnierachsenpunkt)
- L = Endpunkte des Labialbügels im Oberkiefer

Abb. 10

Meßpunkte und Bezugspunkte auf den Röntgenbildern



Die Strecke $\overline{AA'}$ (Abb. 10) stellt den Weg des äusseren Condyluspoles beim Lateralbiß, der Winkel zwischen $\overline{AA'}$ und einer Sagittalen durch deren Schnittpunkt mit der Condylenachse den Bennettwinkel projiziert auf eine Horizontalebene dar.

b. Durchführung der Messungen

Nachdem auf allen Röntgenbilder sowohl die Bezugspunkte als auch die Meßpunkte mit Nadelstichen markiert sind, wird zunächst das Röntgenbild der zentrischen Okklusion mit dünnen Metallstiftchen an den beiden Punkten L, auf dem Reißbrett fixiert und alle übrigen Markierungspunkte durch feine Nadelstiche auf ein darunter liegendes Zeichenblatt übertragen. Nach Abnahme des Bildes, kann man durch Aufschieben auf die Metallstiftchen mit den beiden Aufnahmen für Lateralbiß rechts und links ebenso verfahren. Auf dem Zeichenblatt erhalten wir so alle Meßpunkte der übereinander projizierten Aufnahmen, und wir können nach Verbinden entsprechender Meßpunkte, mit dem Winkelmesser den Bennettwinkel in Grad ermitteln.

Die Messungen wurden am äußeren und inneren Condyluspol durchgeführt, um voneinander unabhängige Werte zu erhalten. Die Beurteilung des Condylusinnenpoles ist jedoch kritisch zu bewerten, da durch die körperliche Kippung der Mandibula beim Lateralbiß dieser durch die Kontur des aufsteigenden Astes bzw. Kiefergelenkes überschattet werden kann.

c. Umrechnung der gefundenen Werte

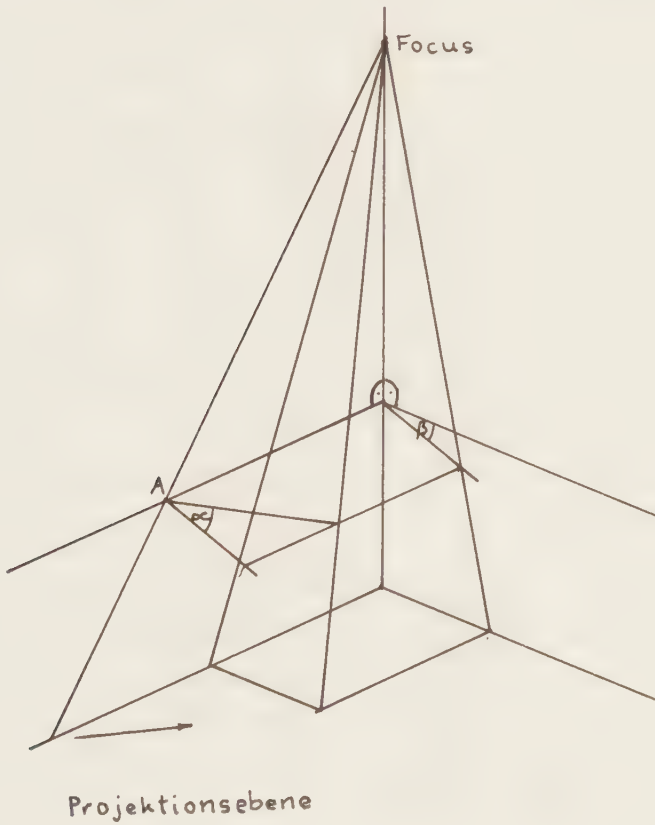
Da der zu messende Winkel durch eine Bewegung in der Condylenbahnebene entsteht und diese einen Neigungswinkel gegenüber der Camper'schen

Ebene bzw. Filmebene besitzt, müssen die gefundenen Werte mathematisch korrigiert werden, um die tatsächlichen Größen zu erhalten. Der Condylenbahnneigungswinkel wurde im Artikulator ermittelt, so daß alle für die Umrechnung notwendigen Parameter bekannt sind.

Zum Verständnis der dreidimensionalen Condylusbewegung, sei zunächst der Strahlengang perspektivisch aufgezeichnet und später in drei senkrecht zueinander stehende Ebenen projiziert, von denen die eine die horizontale Filmebene, die zweite eine Sagittalebene durch den Zentralstrahl und die dritte eine Frontalebene durch den Zentralstrahl und den Meßpunkt A auf dem äußeren Condyluspol ist.

Abb. 11

Strahlengang bei zentrischer Okklusion und Lateralbiß



Durch Umklappen der ersten beiden Ebenen und der Condylenbahnebene in die Frontalebene entsteht die Abbildung 12.

Es können nun folgende Gleichungen aufgestellt werden:

Im rechtwinkligen Dreieck gilt die Winkelfunktion:

$$1. \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{\overline{BC}}{\overline{AC}} \quad ;$$

$$2. \quad \operatorname{tg} \alpha' = \frac{\overline{B'C'}}{\overline{A'C'}} \quad ;$$

Nach dem Vierstreckensatz ist

$$3. \quad \frac{\overline{EF}}{\overline{DF}} = \frac{\overline{B''E}}{\overline{DG}} \quad ; \quad \overline{B''E} = \frac{\overline{EF}}{\overline{DF}} \cdot \overline{DG} \quad ;$$

$$4. \quad \cos \beta = \frac{\overline{B''E}}{\overline{A''C''}} \quad ; \quad \overline{A''C''} = \frac{\overline{B''E}}{\cos \beta} \quad ;$$

$$5. \quad \overline{A''C''} = \overline{AC} \quad ;$$

$$6. \quad \overline{A'C'} = \overline{DG} \quad ;$$

$$\text{aus 2 :} \quad \overline{A'C'} = \frac{\overline{B'C'}}{\operatorname{tg} \alpha'} \quad ;$$

Gleichungen 5 und 3 eingesetzt in 4 :

$$\overline{AC} = \frac{\overline{EF} \cdot \overline{B'C'}}{\overline{DF} \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha'} \quad ;$$

Die Strecke $\overline{BC}$ errechnet sich aus

$$7. \quad \overline{BC} = \overline{AA''} - \overline{EH} \quad ;$$

Nach dem Vierstreckensatz ist

$$8. \quad \frac{\overline{EF} - \overline{A''E}}{\overline{DF}} = \frac{\overline{AA''}}{\overline{A'D}} \quad ; \quad \overline{AA''} = \frac{\overline{EF} - \overline{A''E}}{\overline{DF}} \cdot \overline{A'D} \quad ;$$

$$\text{und 9.} \quad \frac{\overline{EF}}{\overline{DF}} = \frac{\overline{EH}}{\overline{DH'}} \quad ; \quad \overline{EH} = \frac{\overline{EF} \cdot \overline{DH'}}{\overline{DF}} \quad ;$$

Gleichungen 8 und 9 eingesetzt in 7 :

$$\overline{BC} = \frac{1}{\overline{DF}} \cdot (\overline{EF} - \overline{A''E}) \cdot \overline{A'D} - \overline{EF} \cdot \overline{DH'} \quad ;$$

$$\overline{BC} = \frac{1}{\overline{DF}} \cdot (\overline{A'D} - \overline{DH'}) \cdot \overline{EF} - \overline{A'D} \cdot \overline{A''E} \quad ;$$

$$\overline{A'D} - \overline{DH'} = \overline{B'C'} \quad ;$$

$$\overline{BC} = \frac{1}{\overline{DF}} \cdot (\overline{B'C'} \cdot \overline{EF} - \overline{A'D} \cdot \overline{A''E}) \quad ;$$

Gleichungen 4 und 7 eingesetzt in 1 :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\overline{DF} \cdot (\overline{B'C'} \cdot \overline{EF} - \overline{A'D} \cdot \overline{A''E}) \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha'}{\overline{DF} \cdot \overline{EF} \cdot \overline{B'C'}} \quad ;$$

Im rechtwinkligen Dreieck A''B''E gilt die Winkelfunktion :

$$10. \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{\overline{A''E}}{\overline{B''E}} \quad ; \quad \overline{A''E} = \operatorname{tg} \beta \cdot \overline{B''E} \quad ;$$

Gleichung 3 eingesetzt in 10 :

$$\overline{A''E} = \operatorname{tg} \beta \cdot \frac{\overline{EF}}{\overline{DF}} \cdot \overline{DG} \quad ;$$

Gleichung 10 eingesetzt in 1 :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\overline{EF} \cdot (\overline{B'C'} - \operatorname{tg} \beta \cdot \frac{\overline{A'D} \cdot \overline{DG}}{\overline{DF}}) \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha'}{\overline{EF} \cdot \overline{B'C'}} \quad ;$$

aus der Gleichung 2 : $\overline{B'C'} = \overline{A'C'} \cdot \operatorname{tg} \alpha' \quad ;$

$$\text{in 1 : } \operatorname{tg} \alpha = \frac{\overline{A'C'} \cdot \operatorname{tg} \alpha' - \frac{\overline{A'D} \cdot \overline{DG}}{\overline{DF}} \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha'}{\overline{A'C'} \cdot \operatorname{tg} \alpha'} \quad ;$$

6 eingesetzt in 1 :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\overline{A'C'} \cdot (\operatorname{tg} \alpha' - \operatorname{tg} \beta \cdot \frac{\overline{A'D}}{\overline{DF}}) \cdot \cos \beta}{\overline{A'C'}} \quad ;$$

$$\operatorname{tg} \alpha = (\operatorname{tg} \alpha' - \operatorname{tg} \beta \cdot \frac{\overline{A'D}}{\overline{DF}}) \cdot \cos \beta \quad ;$$

Der Winkel β ist bekannt, die Strecke $\overline{A'D}$ wurde bei der Durchführung der Röntgenaufnahmen gemessen, und die Strecke $\overline{DF}$ und der Winkel α' können aus den

Röntgenbildern ermittelt werden. Entsprechend obiger Funktion wird der Winkel α in Abhängigkeit von α' umso kleiner, je größer der Kondylenbahnneigungswinkel ist und je größer der Quotient aus den beiden Strecken $\overline{A'D}$ und $\overline{DF}$ wird.

d. Kritik der Methodik

Die Röntgenaufnahmen jedes Probanden wurden auf ihre Identität geprüft. Dazu wurden die Abstände markanter Punkte - meist Kreuzungspunkte scharf gezeichneter Knochenspannen des Processus mastoideus - die etwa im gleichen Abstand wie die Condylen zum Focus liegen, gemessen und die Abweichung in Millimeter ermittelt. Der Vergleich zwischen dem Bild der zentrischen Okklusion und denen der Lateralbisse ergab eine Standardabweichung von $\pm 0,09$ mm (bei einer Meßstrecke von durchschnittlich 130 mm entspricht das einem prozentualen Fehler von 0,23 %). Da dieser Fehler innerhalb der Ablesegenauigkeit der Röntgenaufnahmen liegt, kann er vernachlässigt werden.

Eine Rotation des Kopfes um den sagittalen Fixationsstab als Drehachse, konnte trotz horizontaler Führungsfläche an ihm nicht vollständig ausgeschlossen werden, so daß in drei Fällen ein kleiner Winkel zwischen Filmebene und Objektebene entstand. Diese Rotation kann aber als parallele Verschiebung des Focus zur Condylenachse dargestellt werden, wobei sich die entsprechenden Strecken $\overline{A'D}$ vergrößern bzw. verkleinern. Da sich der gleichzeitig verändernde Objekt - Focusabstand nur unwesentlich vergrößert bzw. verkleinert, ist für die Berechnung nur die Strecke $\overline{A'D}$ von Bedeutung.

Zur Ermittlung der Kopfrotaion wurden auf dem Röntgenbild die Schädelassymmetrien, im beson-

körperliche Kippung aus, so daß bei gleicher Projektionsrichtung die Außenkontur der Gelenkköpfe verändert sein kann. Geringe Veränderungen können jedoch vernachlässigt werden, weil die Ermittlung der Meßpunkte durch Überlagerung mit dem Röntgenbild der zentrischen Okklusion erfolgt.

Da die Bezugspunkte auf den einzelnen Röntgenbildern nicht immer gleich scharf konturiert sind, können bei ihrer Festlegung geringe Fehler auftreten. Deshalb wurden sie sowohl an den Röntgenbildern als auch an den von ihnen hergestellten Positiven unabhängig voneinander ermittelt und Abweichungen bei der Auswertung berücksichtigt.

Ebenso sind Fehlermöglichkeiten bei der Überlagerung der einzelnen Röntgenaufnahmen gegeben. Deshalb wurden mehrere Messungen durchgeführt und der Mittelwert mit dem Signifikanzbereich errechnet.

III. Ergebnisse

1. Methode nach LAURITZEN

Die in der üblichen Weise durchgeführten Biß-registrierungen ergaben folgende Werte:

Tab. 1 Meßergebnisse der LAURITZEN - Methode

Pro-band	Protrusion re.in Grad	Protrusion li.in Grad	Bennett re.in Grad	Bennett li.in Grad
I	46	42	23 $\pm$ 1	15 $\pm$ 1
II	40	41	16 $\pm$ 2	20 $\pm$ 2
III	38	33	8,5 $\pm$ 1,5	14,5 $\pm$ 1,5
IV	40	39	6 $\pm$ 1	19 $\pm$ 2
V	41	43	11 $\pm$ 3	4 $\pm$ 1
VI	46	45	19 $\pm$ 2	13 $\pm$ 1
VII	45	44	17 $\pm$ 4	16 $\pm$ 3
VIII	34	28	12,5 $\pm$ 2,5	14 $\pm$ 2
IX	29	31	15 $\pm$ 4	17 $\pm$ 2
X	42	39	10 $\pm$ 1	9 $\pm$ 2

Um genauere Ergebnisse zu erhalten, wurden alle Registrierungen mindestens zweimal durchgeführt - wie es auch in der Praxis üblich ist - und aus den Einzelwerten der Mittelwert errechnet. Die durchschnittliche Streuung um den Mittelwert beträgt hierbei $\pm$ 1,9 Grad.

Der im Dentatus - Artikulator nach der LAURITZEN - Methode gefundene Winkel wird als Bezugsgröße

festgesetzt und der aus dem Röntgenbild errechnete mit diesem verglichen.

2. Röntgenaufnahmen

Zur Ermittlung der aus den Röntgenbildern stammenden Werte, wurde der vorher genannte Weg beschritten. Es wurden für jeden Winkel mindestens fünf Messungen durchgeführt. In der folgenden Tabelle werden gleichzeitig der Condylenbahnneigungswinkel und die Kopffrotation um den sagittalen Fixationsstab, zusammen mit den im Röntgenbild gemessenen Winkeln für die Seitabweichung des Condylus aufgeführt, um die resultierenden Endwerte besser verstehen zu können.

Die aus den Einzelmessungen ermittelte Streuung um den Mittelwert wird durch die mathematische Umrechnung auf die tatsächliche Größe um rund 0,5 Grad reduziert. Eine genauere Angabe als halbe Grad ist wegen der relativ großen Ungenauigkeit der Meßmethode nicht erforderlich. Es ergibt sich für die Endwerte eine durchschnittliche Streuung von + 2,4 Grad.

Tab. 2 Meßergebnisse der Röntgenaufnahmen

Proband	Winkel re. in Grad	Winkel li. in Grad	Condylenbahn neigungswinkel rechts	Condylenbahn neigungswinkel links	Kopfro- tation in Grad	errechneter Bennett re. in Grad	Bennett li. in Grad
I	29,5± 4	20 ± 3	46 ± 4	42 ± 1	0	20 ± 3,5	14 ± 2,5
II	23 ± 2	28 ± 4	40 ± 2	41 ± 2	0	17 ± 1,5	20 ± 3,5
III	12,5± 3	17,5± 3,5	38 ± 1	33 ± 3	3° n.l.	10 ± 2,5	12 ± 3
IV	12 ± 3	26 ± 2	40 ± 2	39 ± 2	0	7 ± 2,5	19 ± 1,5
V	17 ± 4	8 ± 2	41 ± 3	43 ± 2	0	11 ± 3,5	4 ± 1,5
VI	28 ± 3	18,5± 2,5	46 ± 1	45 ± 2	2° n.r.	17 ± 2,5	13 ± 2
VII	24 ± 3,5	22,5± 2,5	45 ± 1	44 ± 1	0	16 ± 3	15 ± 2
VIII	17 ± 2,5	17,5± 3	34 ± 2	28 ± 1	0	12 ± 2	15 ± 2,5
IX	19 ± 3	20 ± 3	29 ± 1	31 ± 1	0	16 ± 2,5	16 ± 2,5
X	14,5± 2,5	12 ± 2	42 ± 2	39 ± 1	2° n.r.	8 ± 2	9 ± 1,5

Signifikanzberechnung

Zur Bestimmung der Unterschiede der einerseits im Artikulator, andererseits im Röntgenbild ermittelten Winkel wurde der Abweichungsquotient

$$Q = \frac{\text{Bennettwinkel im Artikulator}}{\text{Bennettwinkel im Röntgenbild}}$$

ermittelt. Der Abweichungsquotient wird umso größer, je größer der Unterschied zwischen beiden Werten ist und er wird 1,00, wenn keine Differenz vorliegt. Wegen der Streuung der Einzelmessungen erhalten wir einen bestimmten Signifikanzbereich. Werte, in deren Signifikanzbereich 1 liegt sind nicht signifikant verschieden und weisen darauf hin, daß beide Meßmethoden die 'wahre' Größe gleich wiedergeben.

Berechnung:

Zunächst wird aus allen Abweichungsquotienten eines Bennettwinkels der mittlere Abweichungsquotient ermittelt.

$$\bar{Q} = \frac{\text{Summe der Abweichungsquotienten}}{\text{Anzahl der Quotienten}}$$

Um die Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert zu beurteilen wird die Standard-Abweichung (mittlerer Fehler) bestimmt.

Mittlerer Fehler des mittleren Abweichungsquotienten:

$$s_{\bar{Q}} = \frac{\sqrt{\frac{\text{Summe aller } (Q - \bar{Q})^2}{\text{Anzahl der Messungen} - 1}}}{\sqrt{\text{Anzahl der Messungen}}}$$

Der 3 s - Bereich umfaßt 99,7% aller Mittelwerte, d.h. es besteht eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,3%. Liegt die Bezugsgröße innerhalb der 3 s-Grenze, so sind diese und $\bar{Q}$ nicht signifikant verschieden.

Tab. 3

Mittlerer Abweichungsquotient $\bar{Q}$ mit Angabe der Standardabweichung von $\bar{Q}$ (= mittlerer Fehler $S_{\bar{Q}}$)

Proband	rechtes Gelenk	linkes Gelenk
I	1,191 $\pm$ 0,086	1,071 $\pm$ 0,077
II	0,967 $\pm$ 0,041	1,03 $\pm$ 0,06
III	0,89 $\pm$ 0,073	1,197 $\pm$ 0,07
IV	0,84 $\pm$ 0,076	0,991 $\pm$ 0,034
V	1,11 $\pm$ 0,114	1,09 $\pm$ 0,167
VI	1,112 $\pm$ 0,051	1,02 $\pm$ 0,054
VII	1,055 $\pm$ 0,054	1,08 $\pm$ 0,063
VIII	1,032 $\pm$ 0,095	0,97 $\pm$ 0,028
IX	0,942 $\pm$ 0,067	1,047 $\pm$ 0,026
X	1,211 $\pm$ 0,083	1,01 $\pm$ 0,032

Eine größere Abweichung des im Röntgenbild ermittelten Winkels von dem des Artikulators ist in vier Fällen feststellbar (Fehler größer als 11%), jedoch sind auch diese Werte wegen der breiten Vertrauensgrenzen, von dem im Artikulator gefundenen Winkel nicht signifikant verschieden.

Aussage: Beide Meßmethoden stimmen in ihrem Ergebnis überein, da die Nullhypothese nicht widerlegt wird.

Die durch die unterschiedlichen Meßmethoden gewonnenen Mittelwerte differieren demnach auf Grund der zufällig erfaßten Einzelwerte.

D. DISKUSSION

a. Genauigkeit der Artikulatorwerte

Die im Artikulator mit zwei verschiedenen Wachsregistraten gemessenen Winkel differieren im Durchschnitt um nicht mehr als 3 Grad. Das ist für Winkelmessungen eine ausreichend hohe Genauigkeit.

Die entscheidende Frage aber ist, ob die LAU-RITZEN - Methode den tatsächlichen, anatomisch bedingten Winkel im Dentatus - Artikulator wiedergibt. Einige Autoren, PALMQUIST (1950) und POSSELT (1958), weisen darauf hin, daß die Technik der intraoralen Wachsbisnahme, trotz ihrer zweifellos großen Verdienste, den Nachteil eines großen Unsicherheitsfaktors hat, der auf die zahlreichen Möglichkeiten von Zufallsfehlern zurückzuführen sei. Weiterhin geben die gleichen Autoren an, daß bei Veränderungen der vertikalen Dimension gegenüber der ursprünglichen okklusalen Position, die im Artikulator nach den Wachsbissen erhaltenen Werte im allgemeinen zu klein ausfallen. Für den Condylenbahnneigungswinkel mögen diese Veränderungen zutreffen, jedoch sollen nach R. FISCHER, alle Winkel auf der Interkondylarachse beim extremen Seitbiß, unabhängig von dem Überbiß der Schneidezähne und damit auch von der Größe der vertikalen Dimension, konstant bleiben.

Die für die Messung notwendige Ausgangsposition der zentrischen Okklusion (retrudierte Position) wird bei einer Bißsperre von etwa 2 mm (KÜHL, ROSSBACH) eingenommen und von da Lateralebewegungen ausgeführt, die ebenfalls auf dem erhöhten Niveau ablaufen. Da die Bißsperre nur geringfügig ist und während des Bewegungsablaufes keine wesentlichen Niveauänderungen stattfinden, ist

eine Veränderung des Bennettwinkels, auch nach dem oben Gesagten, nicht anzunehmen. Weiterhin bringt der Vergleich des von GYSI ermittelten Durchschnittswertes von 15 Grad für die Einwärtsbewegung mit dem hier nach der LAURITZEN - Methode gewonnenen Mittelwert von 14 Grad keinen exakten Hinweis auf eine Winkelverkleinerung.

Eine Fehlermöglichkeit liegt jedoch in dem fixen Kondylarabstand des Artikulators, der sich an den differenten individuellen Condylenabstand nicht anpassen läßt. Die Größe des dadurch entstehenden Fehlers kann nur durch gezielte Untersuchungen eruiert werden.

b. Genauigkeit der aus den Röntgenaufnahmen ermittelten Werte

Die einzelnen Messungen für einen Winkel weisen teilweise erhebliche Unterschiede auf, die zwischen 4 und 8 Grad liegen. Andere Untersuchungen zeigen ähnliche Differenzen - LINDBLOM (1960) 3 - 7 Grad, RUUD (1950) durchschnittlich 5 Grad, maximal 10 Grad - so daß der Meßfehler im Rahmen der Norm bleibt. Alle diese Arbeiten zeigen aber auch, daß die Methode der Winkelmessung auf dem Röntgenbild mit einem relativ großen Fehler behaftet ist.

Bei der Frage nach der Reproduzierbarkeit des tatsächlichen Winkels gelten für das Röntgenbild ähnliche Überlegungen wie für die LAURITZEN - Methode. Nur ist bei der hier angewandten Technik mit dem zentralen Stützzift eine Bißsperre von 3-5 mm (KÜHL, ROSSBACH) vorhanden. Ebenso wie bei dem Artikulatorwert ist eine Auswirkung einer vergrößerten vertikalen Dimension auf den Bennettwinkel bei extremem Seitbiß nicht anzunehmen, wenn neben dem oben Erwähnten, die Öffnungsbewegung bis zu einer Schneidekanten-distanz (SKD) von 5 mm als reine Rotation abläuft.

BEYRON (1942) und POSSELT (1952) haben die SKD gemessen, während sie von der retrudierten Kontaktposition bis zur Ruhelage und darüber hinaus eine reine Scharnier-Öffnung ausführten. BEYRON hat an 11 Personen mit gesundem Gebiß und unterschiedlichem Bißtypus eine Rotation bis zu einer SKD von 10 - 15 mm nachweisen können, während POSSELT an 14 Studenten eine reine Rotation bis zu einem durchschnittlichen incisalen Abstand von $19,2 \pm 1,9$ mm beobachtete.

Von SCHWARZ (1926) und LINDBLOM (1960) werden während der Exposition eine möglichst normale und physiologische Kopfhaltung und physiologische mandibuläre Bewegungen gefordert, wenn genaue Ergebnisse erhalten werden sollen. Diese Forderung konnte bei der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt werden, da einerseits zur Fixation des Kopfes am Röntgentisch eine Oberkieferplatte benötigt wurde, die zwangsläufig zu einer Bißsperre führte, andererseits die Technik der axialen Röntgenaufnahme mit maximal vorgestrecktem Kinn eine unphysiologische Kopfhaltung verlangte. Deshalb wurden bei physiologischer Kopfhaltung die einzelnen Mandibulapositionen mit Hilfe des gotischen Bogens im voraus registriert und in dem Unterkiefertisch mit feinen Bohrungen fixiert.

Ob die unter diesen Bedingungen aufgenommenen Röntgenbilder den tatsächlichen Winkel exakt reproduzieren, bedarf weiterer Untersuchungen mit der aufwendigeren Technik der Röntgenkinematographie, bei der der Kopf nicht mit Hilfe einer Platte fixiert werden muß (die einzelnen Röntgenaufnahmen werden kurz hintereinander belichtet) und die damit Unterkieferbewegungen unter physiologischen Bedingungen erlaubt. Außerdem muß während der Exposition eine möglichst normale und physiologische Kopfhaltung vorausgesetzt

werden, die bei axialen Röntgenaufnahmen mit Sicherheit nur unter ungünstigsten Konditionen erreichbar ist.

c. Vergleich der beiden Meßmethoden

Der im Röntgenbild als adäquate Wiedergabe der anatomischen Condylenbahn gefundene Winkel läßt sich direkt mit dem funktionell ermittelten des Artikulators vergleichen.

Bemerkenswert ist, daß die auf den Röntgenaufnahmen gemessenen Winkel im Durchschnitt um 1 Grad kleiner sind, als die Vergleichswerte im Artikulator. Betrachten wir die Ausgangsposition für die Lateralbewegungen bei beiden Meßmethoden, so stellen wir fest, daß diese in der sagittalen Richtung unterschiedlich sind. Diese sagittale Interferenz könnte die Differenz in den beiden Meßreihen hervorrufen. Andererseits kann der gefundene Unterschied ein Zufallsergebnis der beiden Versuchsreihen sein.

Eine weitere offene Frage ist, ob nicht die anatomische Form der Fossa den Condylenpfad wiedergibt, und damit die diffizile Technik der Röntgenbildüberlagerung überflüssig macht. Bis heute wissen wir aber noch nicht, in welchem Umfang die Condylen den anatomischen Konturen der Fossa folgen. Vergleicht man die medialwärts gerichtete Kontur der äußeren Fossabegrenzung mit dem Bennettwinkel, so läßt sich ein direkter Zusammenhang feststellen. Ist der rechte Bennettwinkel größer, dann ist die Inklination der Fossabegrenzung ebenfalls größer und umgekehrt. Der Vergleich zeigt weiterhin eine Assymetrie, wobei das linke Kiefergelenk im allgemeinen größere Winkel aufweist als die Gegenseite. Dies stimmt überein mit den von LINDBLÖM ermittelten Kiefergelenkdaten, ebenso

wie mit anderen Ergebnissen über das Vorhandensein bilateraler Assymetrien bei verschiedenen cranialen Messungen - MARTIN (1914), LUNDSTRÖM (1951), LYSELL (1955).

d. Beantwortung der Fragestellung

1. Das Röntgenbild als adäquate Wiedergabetechnik der anatomischen Condylenbahn, ermöglicht eine Darstellung des Bennettwinkels, wobei es aber der Methode an Exaktheit mangelt. Um trotzdem annehmbare Ergebnisse zu erzielen, müssen Mittelwerte dargestellt werden.
2. Obwohl beide Meßmethoden unterschiedliche Wege beschreiten, führen sie zu einem vergleichbaren Ergebnis. Die Differenz im Ergebnis kann aus der abweichenden Technik resultieren oder ein Zufallsfehler der beiden Meßreihen sein.

E. Zusammenfassung

In den Literaturhinweisen wird ein Überblick über bisherige Ergebnisse der Anatomie, Physiologie und Untersuchungsmethodik des Kiefergelenkes mit besonderer Berücksichtigung der speziellen Problematik gegeben.

In eigenen experimentellen Untersuchungen an zehn erwachsenen Probanden wird der Bennetzwinkel einmal mit der LAURITZEN - Methode, dann an Hand von Röntgenaufnahmen ermittelt und die Ergebnisse miteinander verglichen.

Die nach der LAURITZEN - Technik erhaltenen Winkel werden durch die im Röntgenbild gefundenen Werte bestätigt. In der Diskussion wird die Beziehung der experimentell ermittelten Werte zur tatsächlichen anatomischen Größe erörtert.

Literaturverzeichnis:

- AMER, A.:
Approach to surgical diagnosis of the temporomandibular articulation through basic studies of the normal. J. Amer. dent. Ass. 6, 668 (1952).
- BAUER, W.:
Anatomische und mikroskopische Untersuchungen über das Kiefergelenk, mit besonderer Berücksichtigung der Veränderungen bei Osteo-Arthritis Deformans. Z. Stomat. 18, 1136 (1932).
- BALKWILL, F. H.:
The best form and arrangement of artificial teeth for mastication. Publ. by Hanau, Dental Engineering, S. 53, (1927).
- BENNETT, N. G.:
Ein Beitrag zum Studium der Bewegungen des Unterkiefers. Z. f. Orthop. u. Prothese 76 (1913).
- BEYRON, H.:
Orienteringsproblem vid protetiska rekonstruktioner och brettstudier. Svensk tandläk. Tidskr. 1,1 (1942).
- BIEL, G.:
Untersuchungen über eine Relation zwischen der Form des capitulum mandibulae und der individuellen Ausgestaltung des Kauflächenkomplexes. Diss., Zürich (1954).
- BOCK, O.:
Untersuchungen über verschiedene Methoden der Registrierung der Unterkieferlage im vollbezahnten Gebiß. Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 823 (1967).
- BOOS, R.:
Intermaxillary rotation established by biting power. J. Amer. dent. Ass. 8, 1192 (1940).
- BOSSE, H. H.:
Beiträge zur Anatomie des menschlichen Unterkiefers. Diss. Königsberg (1901).
- CARLSÖÖ, S.:
Nervous coordination and mechanical function of the mandibular elevator. Diss. Acta odont. scand. 11 (1952).
- CHAYES, F.:
Technique for temporomandibular joint roentgenography. J. prosth. Dent. 6, 822 (1956).

- CHRISTENSEN, C.:
Ein rationeller Artikulator. Corr.bl. f. Z., 1 (1901).
- DONOVAN, R.:
A method of temporomandibular joint roentgenography for serial or multiple records. J. Amer. dent. Ass. 4, 401 (1954).
- FABIAN, H.:
Studien zur Kaufunktion. Ein Beitrag zur Frage nach der Ursache der Spee-schen Kurve und des Tuberculum articulare. Dtsch. Zahnheilk. Votr. 6 (1925).
- FICK, R.:
Anatomie und Mechanik der Gelenke III, G. Fischer, Jena (1911).
- FISCHER, R.:
Die Artikulationslehre in Häupl, K., Meyer, W., Schuchardt, K.: Die Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Verlag Urban & Schwarzenberg München/Berlin IV, 95 - 176 (1956).
- FRANK, L.:
The opening axis of the jaw. Dent. Digest 1, 16 (1956).
- GILLIS, R. R.:
Roentgen-ray study of the temporomandibular articulation. J. Amer. dent. Ass. 8, 1321 (1935).
- GROHS, R.:
Der richtige und falsche Biß beim Zahnlosen. Z. Stom. 1, 1 (1934).
- GYSI, A.:
Beitrag zum Artikulationsproblem, Berlin 1908. Aug. Hirschwald Verl.

Der Wert der seitlichen Kaubewegungen. Schweiz. Vjschr. Zahnheilk. 1, 33 (1919).
- HANAU, R. L.:
Dental Engineering, vol. I, Buffalo (1926).
- HANKEY, G. T.:
Temporomandibular arthrosis. Brit. dent. 10, 249 (1954).
- HJORTSJÖ, C. H.:
The significance of the articular disc and the 'accentuated grinding joint'. Odont. Revy 3, 203 (1953).

- KJELLBERG, K.:
Bidrag till käkledens utvecklingshistorie. Diss.
Stockholm (1901).
- KROGH - POULSEN, W.
MÖLHAVE, A.:
Om discus articulationis temporomandibularis.
Tandlaegebladet 4, 265 (1957).
- KÜHL, W.
ROSSBACH, A.:
Zur Okklusionsdiagnostik und Okklusionstherapie.
Dtsch. Zahnärztebl. 23, 571 (1969).
- LAURITZEN, A. G.
WOLFORD, L. W.:
Occlusal relationship: The split-cast method for
articulator techniques. J. prosth. Dent. 14, 256
(1964).
- LUCIA, V. O.:
A technique for recording centric relation. J.
prosth. Dent. 14, 492 (1964).
- LUNDSTRÖM, A.:
The aetiology of crowding of the teeth and its
bearing on orthodontic treatment. Rep. 20. Congr.
Eur. Orthod. Soc., S. 176 (1951).
- LYSELL, L.:
Plicae palatinae transversae and papilla incisiva
in man. Diss. Acta odont. scand. 18 (1955).
- LINDBLOM, G.:
On the anatomy and funktion of the Temporomandi-
bular Joint. Stockholm (1960).
- MAROLT, A.:
Beitrag zur Röntgenographie des Kiefergelenkes.
Dtsch. zahnärztl. Z. 19, 1289 (1957).
- MARTIN, R.:
Lehrbuch der Anthropologie, G. Fischer, Jena (1914).
- MEYER, H. G.:
Das Kiefergelenk. Joh. Müll. Arch. f. Anat. u.
Phys., Leipzig (1865).
- NISWONGER, M. E.:
The rest position of the mandible and the centric
relation. J. Amer. dent. Ass. 9, 1572 (1934).
- PARMA, G.:
Die Röntgendiagnostik des Kiefergelenkes. Röntgen-
prax. 15, 633 (1932).

PALMQUIST, O.:

Kondylbaneregistrering medelst protrusionsindex-
en artikulatorundersökning. Svensk tandläk. Tidkr.
3, 217 (1950).

POSSELT, U.:

Studies in the mobility of the human mandible.
Diss. Acta odont. scand. 10 (1952).

POSSELT, U.

FRANZEN, G.:

Kondylbanelutningens registrering medelst intra-
oral vaxindex. Odont. Tidskr. 6, 532 (1958).

RAUBER - KOPSCH :

Lehrbuch und Atlas der Anatomie des Menschen.
Leipzig (1920).

REES, L. A.:

The structure and function of the temporomandi-
bular joint. Brit. dent. J. 6, 125 (1954).

RIESNER, S. E.:

Roentgen technique for the mandibular joint.
Int. J. Orthod. 7, 740 (1937).

RUUD, A. F.:

Röntgenfotografering av kjeveleddet, og en me-
tode til röntgenografisk maling av den sagitale
og laterale kondylbanevinkel. Norske Tannlaege-
foren. Tid. 11, 47 (1950).

STANSBERRY, C. J.:

Functional position check bite technique. J. Amer.
dent. Ass. 3, 421 (1929).

SEARS, H. V.:

To bite or not to bite. Items of Inter. 7, 670
(1940).

SHORE, N. A.:

Occlusal equilibration and temporomandibular
joint dysfunktion. J.B. Lippincott, Philadelphia-
Montreal 202, 206 (1959).

SCHRÖDER, H.:

Zur Frage der Belastung und Entlastung des mensch-
lichen Kiefergelenkes. Vjschr. Zahnheilk. 1, 1
(1934).

SCHÜLLER, A.:

Röntgendiagnostik der Erkrankungen des Kopfes.
Hölders Verl. Wien u. Leipzig (1912).

SICHER, H.:

Zur Mechanik des Kiefergelenkes. Z. Stomat. 1, 27 (1929).

Oral anatomy. 2. Ausg., C.V. Mosby Co, St. Louis (1952).

STEINHARDT, G.:

Die Beanspruchung der Gelenkflächen bei verschiedenen Bißarten. Dtsch. Zahnheilk. Vortr. 91,9 (1934).

Die Bedeutung funktioneller Einflüsse für die Entwicklung und Formung der Kiefergelenke. Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheilk. 11, 711 (1935).

SCHWARTZ, A. M.:

Kopfhaltung und Kiefer. Z. Stomat. 8, 669 (1926).

THOMPSON, A.:

Über die Stellung der Längachsen der Gelenkköpfe beim menschlichen Unterkiefer. Z. morph. Anthrop. 379 (1899).

TÖRÖK, J. R.:

Rest position of the mandible and its significance to dental science. J. Amer. dent. Ass. 3, 151 (1946).

WALKER, W. E.:

The glenoid fossa. The movements of the mandible. The cusps of the teeth. Dent. Cosmos 1, 34 (1896).

WOELFEL, J. B.:

HICKEY, J. C.:

RINEAR, L. Electromyographic evidence supporting the mandibular hinge axis theory. J. prosth. Dent. 3, 361 (1957).

Herrn Professor Dr. Dr. O. Bock
danke ich für die Überlassung des The-
mas und die freundliche Unterstützung
bei der Ausführung der Arbeit.

Weiterhin gilt mein Dank Frau
Hensold, der medizinisch technischen
Assistentin in der Röntgenabteilung der
Universitätskieferklinik Erlangen, für
die bereitwillige Hilfe bei der Durch-
führung der Röntgenaufnahmen.

Lebenslauf

Am 14. 5. 1943 wurde ich als drittes Kind des Studienrates Gerhard Demuth und dessen Ehefrau Gertrud Demuth, geb. Orth, in Neuendettelsau geboren.

Im September 1949 trat ich in die Volksschule in Heilsbronn ein und bestand 1953 die Aufnahmeprüfung in die Oberrealschule in Ansbach. 1955 wechselte ich zur Oberrealschule in Forchheim über, wo ich im Sommer 1962 die Reifeprüfung ablegte.

Nach einem einjährigen Praktikum bei Siemens in Erlangen, begann ich im Herbst 1963 das Studium der Zahnheilkunde an der Universität Erlangen-Nürnberg. Hier bestand ich im November 1966 die zahnärztliche Vorprüfung und im Juli 1969 das zahnärztliche Staatsexamen.

Vom Oktober 1969 bis April 1972 war ich als Assistent in Forchheim, als Stabsarzt im Bundeswehrkrankenhaus in Amberg und anschließend in einer Zahnarztpraxis in Amberg tätig. Seit dem 15. Mai 1972 bin ich als Zahnarzt in Röthenbach/Pegn. niedergelassen.

Offsetdruck-Fotodruck

J. Hogl, 8520 Erlangen Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz) Tel. 22990